

**Б. М. ЧУНАШВИЛИ**, д-р техн. наук, проф., начальник департамента Груз.ТУ, Тбилиси, Грузия;  
**А. М. ПЕТРОСЯН**, академический доктор, асоцир. проф. Груз.ТУ, Тбилиси, Грузия;  
**Г. В. ШАВЕЛАШВИЛИ**, канд. техн. наук, асоцир. проф. Груз.ТУ, Тбилиси, Грузия;  
**М. А. ТУГУШИ**, канд. техн. наук, асоцир. проф. Батумской Морской Академии, Батуми, Грузия

## УЛУЧШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ГРУППОВЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

**Введение.** Вслед за научно-техническим прогрессом, развитием новых технологий и внедрением созданных на их основе электротехнологических установок и комплексов существенно возросли требования к качеству электроэнергии потребляемой из сети электроснабжения. В свою очередь, режимы работы новых технологических установок оказывают значительное влияние как на элементы сети электроснабжения так и на режимы работ и технико-экономические показатели подключенных к сети электропотребителей.

Исходя из этого на современном этапе, в условиях создавшегося энергетического кризиса, одной из главных задач ученых и практических деятелей занимающихся в области электроэнергетики представляет собой повышение энергоэффективности в полном цикле: производства, передача, распределение и потребление электроэнергии. В связи с этим, необходимо отметить, что основной резерв повышения энергоэффективности имеется на этапе потребления, обусловленный низкими энергетическими показателями электроприемников, среди которых значительное место занимает асинхронный электропривод.

Внедрение современных электротехнологических установок привело к увеличению потребления реактивной мощности из сети, т.к. они оснащены устройствами с большой индуктивностью. Ввиду этого увеличилась и проводимая сетью полная мощность, что в свою очередь привело к перегрузке сети и соответственно увеличению потерь напряжения и мощности в ее элементах.

**Постановка задачи.** В связи с этим, одним из основных требований, предъявляемых электроприемникам, представляет собой эффективное преобразование получаемой от сети электроснабжения электроэнергии, т.е. наличие высоких энергетических показателей, как в установленном, так и в переходных режимах работы.

В числе других причин низких энергетических показателей электроприемников, одно из основных мест занимает значительное потребление реактивной мощности (РМ) и в результате, обусловленные этим, увеличенные потери электрической энергии и напряжения в силовых элементах сети электроснабжения.

В связи с этим, во многих странах этот вопрос является приоритетным и решается на государственном уровне. Приводимая информация основана на фактической структуре тарифных ставок, общепринятых в Европе и направленных на стимулирование потребителей минимизировать потребление реактивной мощности [1].

При этом, в тарифах учитывается не количество потребляемой от сети реактивной энергии а коэффициент реактивной мощности.

Однако, данный подход к решению проблемы ставит в неравные условия потребителей большой и малой мощности.

Исходя из этого, для полной разгрузки сети необходимо лимитировать не величину коэффициента мощности ( $\cos\phi$ ), а величину потребляемой от сети РМ -  $Q_n$ , что является более справедливым по отношению к потребителям относительно малой мощности.

Учитывая вышеизложенное, в работе была поставлена задача, повысить энергетические показатели технологического комплекса с групповым асинхронным электроприводом, путем полной разгрузки элементов сети от требуемой комплексом реактивной мощности, с учетом потерь реактивной мощности в силовом трансформаторе питающей сети.

**Материалы исследования.** Для решения поставленной задачи, в первую очередь, были проанализированы технические возможности системы управления (СУ) современных компенсирующих установок выпускаемых ведущими фирмами мира. При этом, было выбрано два варианта систем: ступенчатым регулированием секций блока статических конденсаторов [2] и плавным регулированием синхронного компенсатора [3].

Несмотря на то, что установки компенсации реактивной мощности, основанные на статических конденсаторах, выпускаемые даже многоступенчатым регулированием, требуемая от сети мощность ни полностью компенсируется. Это особенно ярко выражается, когда нагрузка изменяется в больших диапазонах и, при этом, результат компенсации не превышает 50%.

Синхронные компенсаторы имеют способность плавного регулирования реактивной мощности в большем диапазоне, но установленная мощность серийно выпускаемых составляет 10 - 160 МВАр, а номинальное напряжение - 6.6-15.75кВ [4]. В связи с этим, для практического применения так же неприемлемы, поскольку их мощность на много превышает величину максимальной реактивной мощности технологических комплексов функционирующих в нашей стране.

В работе предложен способ управления плавного регулирования генерируемой мощности установки

© Чунашвили Б.М., Петросян А.М., Шавелашвили Г.В., Тугуши М.А., 2015

компенсации реактивной мощности выполненной на базе статических конденсаторов и на его основе разработанная система управления (СУ) преимущественно для группового асинхронного электропривода. При этом, конденсаторная батарея является несекционированной.

Блок-схема разработанной системы управления устройства компенсации реактивной мощности представлена на рис.1.

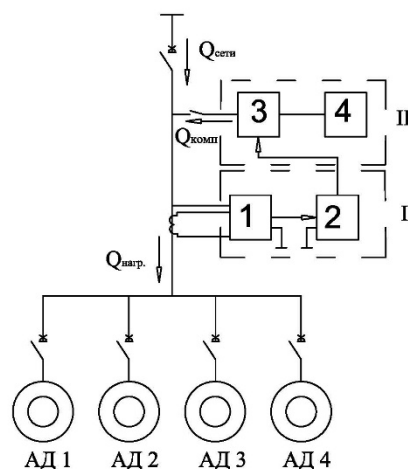


Рис. 1. Блок-схема системы управления плавного регулирования устройства компенсации реактивной мощности

Схема состоит из силовой части I и СУ II. Силовая часть охватывает: ограничитель емкостного тока конденсаторов 3, который представляет собой транзисторный ограничитель реактивного тока; несекционированную конденсаторную батарею (4). В состав системы управления входят: трансформатор тока (ТТ); датчик реактивной мощности (1); система управления (2).

Принцип работы разработанной системы управления заключается в следующем:

Группа асинхронных электроприводов (АД1, АД2, АД3, АД4) от сети принимает реактивную мощность  $Q_{нагр}$ . Величина нагрузки изменяется и зависит от режима работы электродвигателей, определяющие технологическим процессом. Следовательно, на входе датчика реактивной мощности (1), через трансформатора тока (ТТ) подается ток соответствующей нагрузки  $I_{нагр}$ . В результате на выходе датчика появляется задающий сигнал реактивной нагрузки и подается на входе систем управления (2). Соответственно, система управления вырабатывает управляющий сигнал, который подается на вход ограничителя емкостного тока конденсаторов (3). Следовательно, ограничитель емкостного тока открывается и пропускает емкостный ток равный индуктивной нагрузке. То есть, величина емкостной (компенсационной) мощности вырабатываемой конденсатором  $Q_{комп} = Q_{нагр}$ , но направления векторов этих мощностей противоположные.

В итоге, потребляемая от сети реактивная мощность равна:

$$Q_{сети} = Q_{нагр} - Q_{комп} . \quad (1)$$

При изменении реактивной нагрузки  $Q_{нагр}$  пропорционально изменяются величины всех входных и выходных сигналов элементов устройства. Соответственно конденсатор генерирует емкостную мощность  $Q_{комп}$  равной реактивной нагрузке  $Q_{нагр}$ .

Таким образом, разработанная система управления установки, в результате плавного регулирования вырабатываемой мощности, обеспечивает полную компенсацию потребляемой от сети реактивной нагрузки электроприводом.

При этом, для надежной работы устройства, мощность (емкость) конденсаторных батарей выбирается по условию:

$$Q_{кон} \geq Q_{мах нагр} , \quad (2)$$

где  $Q_{мах нагр}$  – максимальная реактивная нагрузка асинхронного многодвигательного электропривода.

Однако, рассмотренная система не обеспечивает контроль конечных результатов, т.е. она является разомкнутой.

В связи с этим, в работе предложен улучшенный вариант СУ. Функциональная схема которого представлена на рис. 2.

В данном варианте изменена структура Блок-схемы и потребляемая от сети реактивная мощность контролируется с учетом компенсационной мощности, в результате чего, система управления получается практически замкнута по требуемой от сети реактивной мощности.

Вместе с этим, расширяется функции системы управления (2) ограничителя емкостного тока конденсаторов и она выполняет функции сравнения сигналов. При этом, на один из его входов подключается задатчик уровня компенсации (5).

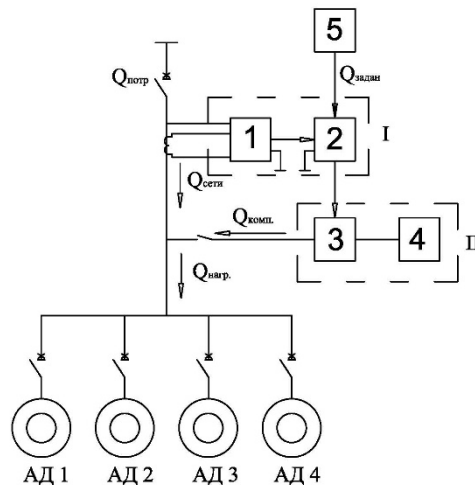


Рис. 2. Блок-схема СУ установки компенсации реактивной мощности асинхронного многодвигательного электропривода (замкнутая система управления).

Принцип работы блок-схема улучшенной СУ установки, представленная на рис. 2, заключается в следующем:

На одном входе системы 2, от задатчика уровня компенсации (5) подается сигнал соответствующий максимальной допустимой потребляемой от сети (лимитированной от энергосистемы) значения реактивной мощности  $Q_{\text{задан}}$ , а на втором – от датчика реактивной мощности (1) сигнал соответствующий реальной реактивной нагрузке электроприводов. После сравнения сигналов система (2) вырабатывает и подает управляющий сигнал на вход ограничителя емкостного тока (3). В результате, устройство вырабатывает компенсационную емкостную мощность:

$$Q_{\text{компл}} = Q_{\text{нагр}} - Q_{\text{задан}}. \quad (3)$$

По формуле (1) реактивная мощность потребляемая от сети равна:

$$Q_{\text{сети}} = Q_{\text{задан}}. \quad (4)$$

Таким образом, система обеспечивает поддерживать потребляемую от сети реактивную нагрузку в размере лимитированного значения.

Рассмотренные выше системы обеспечивают компенсацию реактивной мощности тока для групп электропривода, а для электропотребителей имеющих собственную понижающую подстанцию, они не эффективны, так как в них не учитываются потери реактивной мощности в силовом трансформаторе.

Для расширения сферы использования разработана усовершенствованная СУ компенсатора, Блок-схема которого предоставлена на рис. 3.

Она состоит из следующих элементов:

Силовой трансформатора Т; выключатель силового трансформатора SQ1; выключатель потребителя SQ2; выключатель конденсаторной батареи SQ3; трансформаторов тока технологического комплекса с групповым асинхронным электроприводом (нагрузка) ТП<sub>н</sub>; датчика полной и реактивной нагрузки потребителя 1; блока вычисления потерь реактивной мощности холостого хода силового трансформатора 2; блока вычисления потери реактивной мощности нагрузки в силовом трансформаторе 3; системы управления компенсатора реактивной мощности 4; СУ ограничителя емкостного тока конденсаторов 5; ограничителя емкостного тока конденсаторов 6; несекционированная статическая конденсаторная батарея 7.

Предложенная схема работает следующим образом:

Сумарная активная и реактивная нагрузка технологического комплекса зависит от режимов работы электроприводов. При этом, информация о напряжении  $U_n$  и токе нагрузки  $I_n$  комплекса получаемая от сборной шины и от трансформатора тока ТП<sub>н</sub>, установленная на выходе выключателя QS2, подается на вход датчика полной и реактивной нагрузки потребителя 1. Следовательно, на выходах датчика одновременно появляются сигналы соответствующие реактивной  $Q_n$  и полной  $S_n$  нагрузки потребителя. Сигнал полной нагрузки подается на вход блока вычисления потерь реактивной мощности силового трансформатора 3.

Одновременно, на выходе блока 2 появляется сигнал соответствующий потерям реактивной мощности холостого хода трансформатора  $\Delta Q_{\text{тхх}}$ . Полученные сигналы подаются на входе сумматора 4. От сумматора сигнал поступает на вход СУ ограничителя емкостного тока конденсаторов 5. В результате устройство вырабатывает сигнал компенсационной мощности:

$$Q_k = Q_n + \Delta Q_{\text{тн}} + \Delta Q_{\text{тхх}}. \quad (6)$$

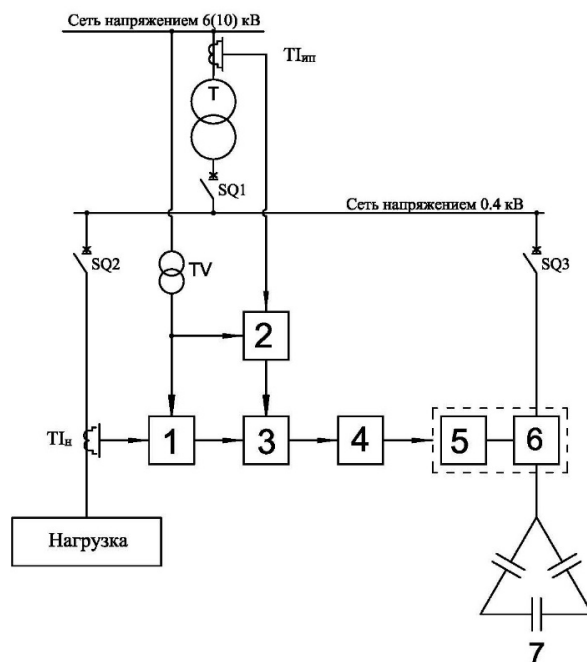


Рис. 3. Блок-схема усовершенствованной системы управления устройства компенсации реактивной мощности плавного регулирования.

В результате, ограничитель емкостного тока конденсаторов 6 пропускает ток батарей силовых конденсаторов, соответствующего получившего управляемого сигнала и устройство генерирует величину реактивной мощности  $Q_k$ .

Таким образом, разработанная усовершенствованная система управления устройства компенсации реактивной мощности плавного регулирования обеспечивает полную компенсацию потребляемой от сети реактивной мощности с учетом потерь в силовом трансформаторе. Это позволяет полностью разгрузить силовые элементы сети электроснабжения от прохождения реактивной нагрузки, уменьшить потери электроэнергии, повысить энергетические показатели.

#### Результаты работы:

1. Предложен способ плавного регулирования генерируемой мощности установки компенсации реактивной мощности выполненной на базе несекционированной статической конденсаторной батарей.
2. На основе предложенного способа разработаны системы управления преимущественно для группового асинхронного электропривода. При этом, разработанная усовершенствованная система управления устройства компенсации реактивной мощности плавного регулирования обеспечивает полную компенсацию потребляемой от сети реактивной мощности с учетом потерь в силовом трансформаторе.
3. Даются функциональные и структурные схемы разработанных систем управления устройств компенсации реактивной мощности.
4. Предложена методика расчета параметров элементов системы управления.
5. Разработанные системы позволяют полностью разгрузить силовые элементы сети электроснабжения от прохождения реактивной нагрузки, уменьшить потери электроэнергии, повысить энергетические показатели и энергоэффективности.

**Список литературы:** 1. Руководство по устройству электроустановок. Технические решения Schneider Electric. 2009 – С. 46. 2. Руководство по проектированию и исполнению шкафов компенсации реактивной мощности для сетей 400/415В–50Гц. // Schneider Electric. 2007 – С. 52. 3. Б.М. Чунашвили, М.И. Кобалия, К.О. Церетели, А.М. Петросян Повышение энергетических показателей асинхронных многодвигательных электроприводов. Электротехнические и электросберегающие системы. – Темат. вып. «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика», №3/2012(19), Кременчук 2012– С. 225–226. 4. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: учебник для вузов. В двух томах./ Том 2 3-е изд.- М.: Издательский дом МЭИ. 2006.- 532с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Rukovodstvo po ustroystvu elektoustanovok. Tekhnicheskie reshenia Schneider Electric. 2009 – S. 46. 2. rukavodstvo po proektirovaniu i reaktivnoi moshnosti dlya setey 400/415V – 50Hz. // Schneider Electric. 2007 – S. 52. 3. B.M. Chunashvili, M.I. Kobalia, K.O. Tsereteli, A.M. Petrosian Povishenie energeticheskikh pokazatelei asinkhronnikh mnogodvigatelnykh elektroprivodov. Elektrotekhnicheskie y elektrosberegayushchie sistemi. – Temat.vip. “problemi avtomatizirovannogo elektroprivoda. Teoria y praktika” Выпуск 3/2012(19) – S. 225–226. 4. Ivanov-Smolensky A.V. Elektricheskie mashini: uchebnik dlya vuzov. V dvukh tomakh./ Tom 2 3-e izd.-M.:Izdatselsky dom MEI. 2006 g.-532 s.

Поступила (received)